

PENGHILANGAN AMONIAK DI DALAM AIR BAKU AIR MINUM DENGAN PROSES BIOFILTER TERCELUP MENGGUNAKAN MEDIA PLASTIK SARANG TAWON

Oleh : Nusa Idaman Said ^{*)} dan Rina Tresnawaty ^{**)}

Abstract

Masalah air baku air minum di kota-kota besar misalnya Jakarta, Surabaya, dan kota besar lainnya semakin hari kualitasnya semakin menurun. Hal ini mengakibatkan semakin mahalnya biaya produksi air baku dan pada kondisi tertentu dapat menyebabkan PAM tidak dapat menghasilkan air yang baik. Dari hasil pemantauan yang dilakukan oleh PAM pada bulan September 2000 terhadap air baku (intake water) di instalasi PAM Cilandak menunjukkan bahwa konsentrasi amoniak bervariasi hingga mencapai sekitar 2,0 mg/l, dimana nilai konsentrasi tersebut telah melampaui ambang batas peruntukkan air baku air minum yakni sebesar 1 mg/l menurut Kep. Gub. DKI Jakarta No. 582 th 1995.

PAM di Indonesia khususnya PAM di DKI Jakarta menggunakan senyawa khlor (gas khlor atau kalsium hipoklorit) yang selain untuk proses desinfeksi juga digunakan untuk menghilangkan senyawa logam Fe, Mn, serta amoniak. Dengan semakin besarnya konsentrasi senyawa amoniak dalam air baku, maka amoniak akan dapat bereaksi dengan khlor menjadi khloramine yang daya desinfeksinya lebih lemah. Hal ini akan mengakibatkan konsumsi khlor akan menjadi lebih besar sehingga biaya operasi menjadi lebih tinggi.

Selain itu dengan semakin besarnya konsentrasi senyawa khlor yang digunakan, maka hasil samping yang dihasilkan seperti terbentuknya senyawa trihalometan dan khlorophenol juga semakin besar. Senyawa-senyawa tersebut dapat mengakibatkan penyakit kanker (carcinogen). Oleh karena itu zat pencemar amoniak harus dihilangkan. Untuk mengurangi kadar amoniak di dalam air baku air minum maka air sungai harus diolah terlebih dahulu melalui suatu pengolahan pendahuluan sebelum masuk ke unit pengolahan. Salah satu alternatif yakni menggunakan proses biologis dengan sistem biofilter tercelup yang diisi dengan media penyangga dari bahan plastik tipe sarang tawon.

Penelitian dilakukan dengan mengoperasikan secara kontinyu satu reaktor biofilter tercelup menggunakan media plastik tipe sarang tawon dengan, ukuran 210 cm x 30 cm x 59 cm, volume total 371,7 liter. Efisiensi penurunan amoniak berdasarkan variasi waktu tinggal hidrolis 1-3 jam berkisar antara 48,74 % - 73,59 %. Pada pengolahan dengan pengkondisian waktu tinggal hidrolis 1 jam efisiensi penurunan sebesar 48,74%, untuk waktu tinggal 2 jam menunjukkan efisiensi sebesar 67,98 %, untuk waktu tinggal 3 jam efisiensi sebesar 73,59 %.

Dari hasil percobaan di dapatkan persamaan hubungan antara beban amoniak dengan efisiensi penghilangan amoniak yang ditunjukkan dengan persamaan : $Y = -57,896 X + 79,859$ di mana Y adalah efisiensi penghilangan amoniak (%), dan X adalah beban amoniak yang dinyatakan dalam gram amoniak/m² media per hari, dengan nilai R (regresi) dengan harga R² = 0,7486. Dari hasil tersebut terlihat bahwa dengan beban amoniak sebesar 0,1–0,7 gr/m².hari di dapatkan efisiensi penghilangan amoniak antara 40 – 75 %.

^{*)} Peneliti pada Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT.

^{**)} Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Trisakti, Jakarta.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Air merupakan salah satu kebutuhan yang sangat pokok bagi kelangsungan kehidupan makhluk hidup terutama manusia, mengingat kebutuhan air bersih terutama di kota-kota besar terus meningkat. Di lain pihak sumber penyediaan air bersih dari badan-badan air khususnya sungai yang tersedia dirasakan semakin berkurang dan menipis. Keadaan ini sangat dirasakan sekali oleh penduduk Jakarta yang terus berkembang sejalan dengan pertumbuhan dan rencana pengembangan wilayah.

Dilihat dari segi kualitas sumber air yaitu sungai sebagai bahan baku air minum untuk saat ini kondisi airnya sangat memprihatinkan karena telah banyak mengalami pencemaran yang cukup berat sepanjang daerah aliran sungai. Hal ini disebabkan adanya berbagai kegiatan baik industri maupun rumah tangga yang menghasilkan hasil samping yaitu berupa limbah yang langsung dibuang ke sungai yang mengakibatkan kualitas air sungai menurun.

Masalah air baku air minum di kota-kota besar misalnya Jakarta, Surabaya, dan kota besar lainnya semakin hari kualitasnya semakin menurun. Untuk Kota Jakarta, menurut Kepala Pusat Pelatihan dan Pendidikan Air Bersih dan Penyehatan Lingkungan Pemukiman, Susanto Murtodiningrat, dikutip oleh Said, N.I (1997) bahwa air baku PAM DKI Jakarta yang masuk ke Instalasi Pejompongan semakin lama semakin menurun kualitasnya. Hal ini mengakibatkan semakin mahalnya biaya produksi air baku dan pada kondisi tertentu dapat menyebabkan PAM Jaya tidak dapat menghasilkan air bersih yang aman sesuai dengan standar yang ditetapkan Menteri Kesehatan (Kompas, 7 Juni 1995).

Dari hasil pemantauan yang dilakukan oleh PAM pada bulan September 2000 terhadap air baku (intake water) di instalasi PAM Cilandak menunjukkan bahwa konsentrasi amoniak bervariasi hingga mencapai sekitar 2,0 mg/l, dimana nilai konsentrasi tersebut telah melampaui ambang batas peruntukkan air baku air minum yakni sebesar 1 mg/l menurut Kep. Gub. DKI Jakarta No. 582 th 1995.

Dilihat dari konsentrasi zat pencemar amoniak dalam air baku cukup tinggi, maka PAM di Indonesia khususnya PAM di DKI Jakarta menggunakan senyawa khlor (gas

khlor atau kalsium hipoklorit) yang selain untuk proses desinfeksi juga digunakan untuk menghilangkan senyawa logam Fe, Mn, serta amoniak. Dengan semakin besarnya konsentrasi senyawa amoniak dalam air baku, maka amoniak akan bereaksi dengan khlor menjadi khloramine yang daya desinfeksinya lebih lemah. Hal ini akan mengakibatkan konsumsi khlor akan menjadi lebih besar sehingga biaya operasi menjadi lebih tinggi.

Selain itu dengan semakin besarnya konsentrasi senyawa khlor yang digunakan, maka hasil samping yang dihasilkan seperti terbentuknya senyawa trihalometan dan khlorophenol juga semakin besar. Senyawa-senyawa tersebut dapat mengakibatkan penyakit kanker (carcinogen). Oleh karena itu zat pencemar amoniak harus dihilangkan.

Untuk mengurangi kadar amoniak di dalam air baku air minum maka air sungai harus diolah terlebih dahulu melalui suatu pengolahan pendahuluan sebelum masuk ke unit pengolahan. Salah satu alternatif yakni menggunakan proses biologis dengan sistem biofilter tercelup yang diisi dengan media penyangga dari bahan plastik tipe sarang tawon.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektifitas penghilangan senyawa amoniak di dalam air baku air minum dengan proses biofilter tercelup menggunakan media plastik tipe sarang tawon. Penelitian dilakukan dengan mengoperasikan sebuah reaktor biofilter skala pilot dengan media penyangga dari bahan plastik tipe sarang tawon yang dioperasikan secara kontinyu.

1.3. Ruang Lingkup

- Pemasangan alat dan menguji bioreaktor sebagai tes awal.
- Proses pertumbuhan mikroorganisme pada media diperoleh dengan cara mengalirkan air baku secara kontinyu pada bioreaktor sampai terbentuknya lapisan tipis (biofilm).
- Menentukan waktu kontak yaitu dengan melakukan variasi waktu tinggal hidrolis untuk mengetahui pengaruhnya terhadap efisiensi penghilangan amoniak.
- Melakukan uji coba sirkulasi terhadap air olahan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

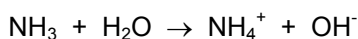
2.1. Senyawa Amoniak

Amoniak (NH_3) merupakan senyawa nitrogen yang menjadi NH_4^+ pada pH rendah yang disebut dengan ammonium. Amoniak dalam air permukaan berasal dari air seni, tinja serta penguraian zat organik secara mikrobiologis yang berasal dari air alam atau air buangan industri ataupun limbah domestik. Adanya amoniak tergantung pada beberapa faktor yaitu sumber asalnya amoniak, tanaman air yang menyerap amoniak sebagai nutrient, konsentrasi oksigen dan temperatur.

Senyawa amoniak dapat ditemukan dimana-mana, dari kadar beberapa mg/l pada air permukaan dan air tanah hingga mencapai 30 mg/l lebih pada air buangan. Kadar amoniak yang tinggi pada air sungai menunjukkan adanya pencemaran. Rasa amoniak kurang enak sehingga kadar NH_3 harus rendah. Pada air minum kadarnya harus nol dan pada air sungai harus dibawah 1 mg/l (syarat mutu air sungai di Indonesia).

Konsentrasi amoniak dapat berubah-ubah sepanjang tahun. Pada musim panas konsentrasi senyawa ini dapat sangat rendah, hal ini disebabkan amoniak diserap oleh tumbuhan, selain itu dapat dipengaruhi oleh temperatur air yang tinggi yang dapat mempengaruhi proses nitrifikasi. Sedangkan pada suhu yang rendah yaitu musim dingin sewaktu pertumbuhan bakteri berkurang dan proses nitrifikasi berjalan lambat menyebabkan konsentrasi amoniak pada sungai tinggi (Seagar *et al.* 1988).

Amoniak dapat menyebabkan kondisi toksik bagi kehidupan perairan. Konsentrasi tersebut tergantung dari pH dan temperatur yang mempengaruhi air. Nitrogen amonia berada dalam air sebagai amonium (NH_4^+) berdasarkan reaksi kesetimbangan sebagai berikut :



Kadar amoniak bebas dalam air meningkat sejalan dengan meningkatnya pH dan temperatur. Kehidupan air terpengaruh oleh amoniak pada konsentrasi 1 mg/l dan dapat menyebabkan mati lemas karena dapat mengurangi kapasitas oksigen dalam air.

Senyawa amoniak dapat mengurangi efektifitas khlorin yang biasanya digunakan sebagai tahap akhir dalam pengolahan air untuk menghilangkan bahan organik yang tersisa serta untuk proses disinfeksi. Asam

hipoklorid dapat bereaksi dengan amoniak membentuk khloramin, dimana kurang efektif sebagai desinfektan sehingga amoniak dapat dikatakan memakai "kebutuhan klorin" pada proses khlorinasi (Benefield & Randall, 1980). Di dalam air limbah, senyawa amoniak ini dapat diolah secara mikrobiologis dengan cara aerasi melalui proses nitrifikasi hingga menjadi nitrit dan nitrat.

2.2. Siklus Nitrogen

Senyawa nitrogen merupakan senyawa yang sangat penting dalam kehidupan, karena nitrogen merupakan salah satu nutrien utama yang berperan dalam pertumbuhan organisme yang hidup. Senyawa ini juga merupakan komponen dasar protein yang keberadaannya di perairan digunakan oleh produsen untuk memproduksi sel oleh hewan dan tumbuh-tumbuhan.

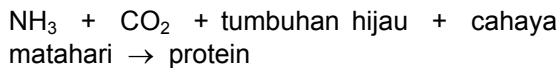
Jumlah nitrogen yang terdapat di atmosfer, paling banyak berada dalam bentuk gas nitrogen sebesar 78 % dan sangat terbatas nutriennya dalam lingkungan air dan daerah pertanian. Pada umumnya gas nitrogen ini tidak dapat dipergunakan secara langsung oleh makhluk hidup, hanya beberapa organisme khusus yang dapat mengubahnya ke dalam bentuk organik nitrogen dan proses yang terjadi dinamakan *fiksasi*.

Dalam lingkungan perairan, nitrogen terlarut dapat diikat oleh sejumlah bakteri dan alga. Nitrogen organik yang disintesa oleh tumbuhan dan alga merupakan sumber nitrogen bagi hewan. Dalam metabolismenya hewan akan membuang nitrogen yang mengandung senyawa-senyawa yang kemudian senyawa tersebut dimineralisasi oleh mikroorganisme dan nitrogen akan dilepaskan sebagai amoniak.

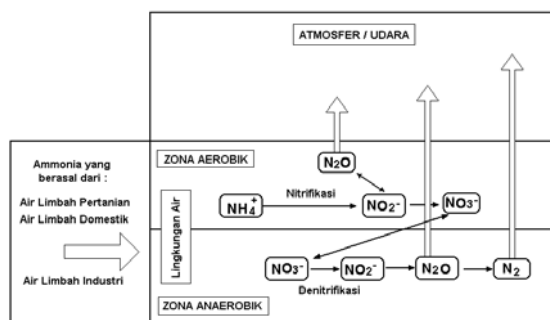
Proses yang sama juga akan terjadi jika tumbuh-tumbuhan dan hewan mati dan akan mengalami dekomposisi. Proses pelepasan amoniak ini disebut juga dengan *amonifikasi*. Amoniak sangat berguna bagi tumbuhan dan mikroorganisme untuk asimilasi menjadi sel baru yang memberikan lebih banyak nitrogen organik.

Untuk mengetahui sejauh mana peran senyawa nitrogen dalam proses pertumbuhan, maka perlu diketahui bentuk serta perubahannya yang terjadi di alam dalam suatu siklus yang disebut siklus nitrogen. Siklus nitrogen yang terjadi di lingkungan perairan secara sederhana dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 1.

Senyawa nitrat dan amoniak dalam air digunakan oleh tumbuhan dan mikroorganisme dalam proses biosintesis (asimilasi) untuk membentuk sel baru yang akan menghasilkan nitrogen organik.



Setelah hewan dan tumbuhan mati, maka akan didekomposisi oleh proses biokimia dan bahan-bahan nitrogen organik akan diubah kembali dalam bentuk amoniak. Proses ini dinamakan sebagai proses *mineralisasi*. Sebagian besar amoniak di alam akan dioksidasi menjadi bentuk nitrit (NO_2^-) dan kemudian menjadi nitrat (NO_3^-) yang dilakukan oleh dua macam bakteri autotrof dalam proses yang disebut *nitrifikasi*.



Gambar 1 : Siklus nitrogen di lingkungan perairan.

Senyawa nitrit merupakan bahan peralihan yang terjadi pada siklus biologi. Senyawa ini dihasilkan dari suatu proses oksidasi biokimia amonium, tetapi sifatnya tidak stabil karena pada kondisi aerobik, selama nitrit terbentuk dengan cepat nitrit dioksidasi menjadi nitrat oleh bakteri *nitrobacter*.

Sedangkan pada kondisi anaerobik, nitrat dapat direduksi menjadi nitrit yang selanjutnya hasil reduksi tersebut dilepaskan sebagai gas nitrogen. Nitrit yang ditemui pada air minum dapat berasal dari bahan inhibitor korosi yang dipakai di pabrik yang mendapatkan air dari sistem distribusi PAM. Pada air permukaan, konsentrasi nitrit sangat rendah ($\mu\text{g/l}$), tetapi konsentrasi yang tinggi dapat ditemukan pada limbah dan rawa dimana kondisi anaerobik sering dijumpai.

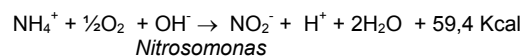
Senyawa nitrat adalah bentuk senyawa nitrogen yang merupakan senyawa yang stabil. Senyawa ini dapat berasal dari buangan industri bahan peledak, pupuk dan cat. Secara alamiah kadar nitrat relatif rendah, tetapi kadar ini dapat menjadi tinggi sekali pada air tanah di daerah-daerah yang diberi pupuk yang mengandung nitrat. Di Indonesia konsentrasi nitrat dalam air minum tidak boleh melebihi 10 mg/l (Alaerts, G. & S.S. Santika, 1984).

2.3. Proses Nitrifikasi

Proses nitrifikasi menurut Gardy & Lim (1980) didefinisikan sebagai konversi nitrogen amonium (N-NH_4) menjadi nitrit (N-NO_2) yang kemudian menjadi nitrat (N-NO_3) yang dilakukan oleh bakteri autotropik dan heterotropik. Proses nitrifikasi ini dapat dilihat dalam dua tahap yaitu :

a. Tahap nitritasi

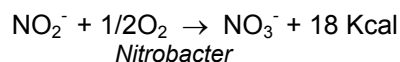
Tahap ini merupakan tahap oksidasi ion amonium (NH_4^+) menjadi ion nitrit (NO_2^-) yang dilaksanakan oleh bakteri *nitrosomonas* menurut reaksi berikut :



Reaksi ini memerlukan 3,43 gram O_2 untuk mengoksidasi 1 gram nitrogen menjadi nitrit.

b. Tahap nitritasi

Tahap ini merupakan tahap oksidasi ion nitrit menjadi ion nitrat (NO_3^-) yang dilaksanakan oleh bakteri *nitrobacter* menurut reaksi berikut :



Reaksi ini memerlukan 1,14 gr O_2 untuk mengoksidasi 1 gr nitrogen menjadi nitrat.

Secara keseluruhan proses nitrifikasi dapat dilihat dari persamaan berikut :



Kedua reaksi diatas disebut dengan reaksi eksotermik (reaksi yang menghasilkan energi). Jika kedua jenis bakteri tersebut ada, baik di tanah maupun di perairan, maka konsentrasi nitrit akan menjadi berkurang karena nitrit dibentuk oleh bakteri

nitrosomonas yang akan dioksidasi oleh bakteri *nitrobacter* menjadi nitrat.

Kedua bakteri ini dikenal sebagai bakteri autotropik yaitu bakteri yang dapat mensuplai karbon dan nitrogen dari bahan-bahan anorganik dengan sendirinya. Bakteri ini menggunakan energi dari proses nitrifikasi untuk membentuk sel sintesa yang baru. Sedangkan bakteri heterotropik merupakan bakteri yang membutuhkan bahan-bahan organik untuk membangun protoplasma. Walaupun bakteri nitrifikasi autotropik keberadaannya di alam lebih banyak, proses nitrifikasi dapat juga dilakukan oleh bakteri jenis heterotropik (*Arthobacter*) dan jamur (*Aspergillus*) (Verstraete and Alexander, 1972).

Disamping itu dengan oksigen yang ada, maka senyawa $N-NH_4$ yang ada diperairan akan dioksidasi menjadi nitrat. Tetapi mengingat kebutuhan O_2 yang cukup besar, maka akan terjadi penurunan oksigen di dalam perairan tersebut sehingga akan terjadi kondisi septik.

Pada proses pengolahan senyawa $N-NH_4$ secara biologis kebutuhan O_2 cukup besar, sehingga kebutuhan O_2 yang tinggi dapat dipenuhi dengan cara memperbesar transfer O_2 ke dalam instalasi pengolahan. Pada reaktor lekat ini, transfer O_2 yang besar dapat diperoleh dengan cara menginjeksikan udara ke dalam reaktor. Dengan adanya injeksi udara diharapkan kontak antara gelembung udara dan air yang akan diolah dapat terjadi.

2.4. Faktor Pengontrol Proses Nitrifikasi

Beberapa faktor pengontrol dari proses nitrifikasi dalam proses pengolahan air antara lain adalah :

- **Konsentrasi Oksigen Terlarut (Dissolved Oksigen)**

Proses nitrifikasi merupakan proses aerob, maka keberadaan oksigen sangat penting dalam proses ini. Dengan demikian dibutuhkan batasan DO yang memungkinkan proses ini dapat berjalan dengan baik. Proses nitrifikasi akan berjalan dengan baik jika DO minimum > 1 mg/l. (Wild et. Al, 1980).

- **Temperatur**

Kecepatan pertumbuhan bakteri nitrifikasi dipengaruhi oleh temperatur antara 8 –

30°C, sedangkan temperatur optimum-nya sekitar 30°C (Hittlebaugh and Miler, 1981).

- **PH**

Pada proses biologi, nitrifikasi dipengaruhi oleh pH. pH optimum untuk bakteri *nitrosomonas* dan *nitrobacter* antara 7,5 – 8,5 (U.S. EPA, 1975). Proses ini akan terhenti pada pH dibawah 6,0 (Painter, 1970; Painter and Loveless, 1983).

2.5. Pengaruh Senyawa Nitrogen

Senyawa nitrogen dalam siklusnya dapat pula menyebabkan pencemaran lingkungan dan gangguan kesehatan akibat kehadirannya dengan berbagai bentuk dalam jumlah yang berlebih, diantaranya :

- Proses eutrofikasi yaitu dengan kehadiran senyawa nitrat yang tinggi yang dapat menstimulasi pertumbuhan ganggang dalam jumlah yang tidak terbatas sehingga air kekurangan oksigen terlarut yang dapat menyebabkan kondisi perairan menjadi septik.
- Penurunan konsentrasi oksigen terlarut sebagai hasil proses nitrifikasi yang terjadi dalam air, yang dapat mengakibatkan rusaknya kehidupan air.
- Senyawa nitrit dapat membahayakan kesehatan karena dapat bereaksi dengan hemoglobin dalam darah sehingga darah tersebut tidak dapat mengangkut oksigen lagi (metahemoglobin).
- Didalam usus manusia, nitrat direduksi menjadi nitrit yang dapat menyebabkan penyakit cyanosis (metahemoglobin) terutama pada bayi atau yang lebih dikenal dengan penyakit blue-baby.
- Amonia dengan konsentrasi > 1 mg/l dapat menyebabkan korosi pada pipa tembaga (Dean and Lund, 1981).

2.6. Pengolahan Biologis untuk menghilangkan amoniak

Pengolahan air secara biologis merupakan suatu proses penguraian bahan-bahan pencemar, baik yang terlarut maupun yang tidak terlarut menjadi bentuk yang lain berupa gas atau padatan (N.J. Hooran, 1990). Hasil dari transformasi tersebut dipengaruhi oleh kondisi lingkungan pada saat proses berlangsung yaitu kondisi aerobik dan anaerobik (Roswell, 1983).

Proses pengolahan biologis secara aerobik merupakan suatu proses yang membutuhkan oksigen untuk menunjang berlangsungnya proses metabolisme biokimia oleh bakteri dalam peruraian bahan-bahan organik menjadi bentuk yang lebih sederhana yaitu CO_2 , H_2O , senyawa-senyawa oksida seperti nitrat, sulfat, fosfat dan terbentuknya massa sel yang baru.

Pada pengolahan secara biologis, pertumbuhan mikroorganisme dapat dilakukan secara melekat pada permukaan media penyangga (*attached growth*), yakni suatu proses pengolahan dimana senyawa-senyawa organik atau senyawa-senyawa lainnya yang terdapat dalam air diuraikan oleh mikro-organisme yang melekat pada permukaan media penyangga menjadi senyawa yang lebih sederhana serta membentuk biomassa atau sel-sel baru.

2.7. Reaktor Biologis Unggun Tetap (Biofilter)

Struktur reaktor biofilter menyerupai saringan (*filter*) yang terdiri atas susunan atau tumpukan bahan penyangga yang disebut dengan media penyangga yang disusun baik secara teratur maupun acak di dalam suatu bejana. Fungsi media penyangga adalah sebagai tempat tumbuh dan berkembangnya mikroorganisme yang akan melapisi permukaan media membentuk lapisan massa yang tipis (*biofilm*).

Mikroorganisme ini menguraikan bahan organik yang ada dalam air. Ketebalan lapisan *biofilm* menyebabkan difusi oksigen berkurang terhadap lapisan terdalam *biofilm* tersebut sehingga dapat menyebabkan terjadinya kondisi anaerobik pada lapisan permukaan media (Metcalf & Eddy, 1991). Air yang diolah akan dikontakkan dengan sejumlah mikroba dalam bentuk lapisan film (*slime*) yang melekat pada permukaan media.

Media penyangga merupakan salah satu kunci pada proses biofilter. Efektifitas dari suatu media tergantung pada :

- Luas permukaan, semakin luas permukaan media maka semakin besar jumlah biomassa per unit volume.
- Volume rongga, semakin besar volume rongga/ruang kosong maka semakin besar kontak antara substrat dalam air buangan dengan biomassa yang menempel

Faktor terpenting yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri pada media penyangga

adalah kecepatan aliran serta bentuk dan jenis konfigurasi media. Media yang digunakan dapat berupa kerikil, batu pecah (*split*), media plastik (*polivinil chlorida*), dan partikel karbon aktif dan lainnya. Media yang sering digunakan pada proses biologis khususnya biofilter adalah media plastik yang terbuat dari PVC (Gabriel Bitton, 1994). Kelebihan dalam penggunaan media plastik ini antara lain :

- Ringan serta mempunyai luas permukaan spesifik besar (luas permukaan per satuan volume) berkisar antara sebesar $85\text{--}226 \text{ m}^2/\text{m}^3$.
- Volume rongga yang besar dibanding media lainnya (hingga 95%) sehingga resiko kebuntuan kecil.

Di dalam reaktor biofilter, mikro-organisme tumbuh melapisi keseluruhan permukaan media dan pada saat beroperasi air mengalir melalui celah-celah media dan berhubungan langsung dengan lapisan massa mikroba (*biofilm*). Mekanisme perpindahan massa yang terjadi pada permukaan suatu media dinyatakan sebagai berikut :

- Diffusi substansi air buangan dari cairan induk ke dalam massa mikroba yang melapisi media.
- Reaksi peruraian bahan organik maupun anorganik oleh mikroba.
- Diffusi produk peruraian ke luar ke cairan induk limbah.

Permukaan media yang kontak dengan nutrisi yang terdapat dalam air buangan ini mengandung mikroorganisme yang akan membentuk lapisan aktif biologis. Disamping itu oksigen terlarut juga merupakan faktor pembentukan lapisan film. Proses awal pertumbuhan mikroba dan pembentukan lapisan film pada media membutuhkan waktu beberapa minggu, yang dikenal dengan "proses pematangan". Pada awalnya tingkat efisiensi penjernihan sangat rendah yang kemudian akan mengalami peningkatan dengan terbentuknya lapisan film (N.J. Horan, 1990).

2.8 Lapisan Biomassa

Lapisan biomassa atau *biofilm* menurut Siebel (1987) didefinisikan sebagai lapisan sel mikroba yang berkaitan dengan penguraian zat organik yang melekat pada suatu permukaan media.

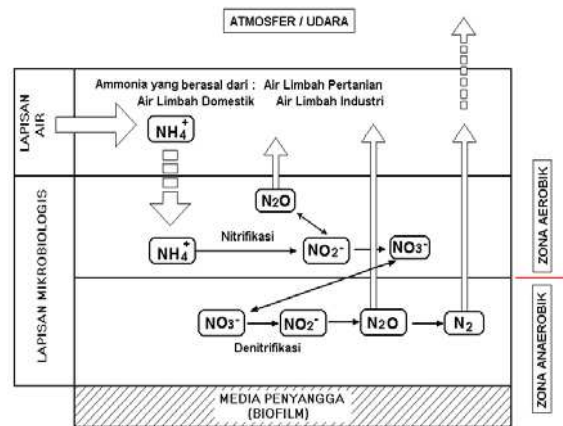
Kecepatan pertumbuhan lapisan *biofilm* pada permukaan akan bertambah akibat perkembangbiakan dan adsorpsi yang terus berlanjut sehingga terjadi proses akumulasi

lapisan biomassa yang berbentuk lapisan lendir (slime). Pertumbuhan mikroorganisme akan terus berlangsung pada slime yang sudah terbentuk sehingga ketebalan slime bertambah. Difusi makanan dan oksigen akan terus berlangsung sampai tercapai ketebalan maksimum sehingga pada kondisi ini difusi makanan dan oksigen ini tidak mampu lagi mencapai permukaan padatan yang akibatnya lapisan biomassa ini akan terbagi menjadi dua zona yaitu zona aerob dan zona anaerob. Pada kondisi ini mulai terjadi pengelupasan lapisan biomassa yang selanjutnya segera terbentuk koloni mikroorganisme yang baru sehingga pembentukan biofilm akan terus berlangsung. Proses pengelupasan ini juga disebabkan oleh pengikisan cairan yang berlebih yang mengalir melalui biofilm (Winkler, 1981).

Efisiensi penghilangan amoniak pada proses biofilter oleh lapisan biomassa dapat mencapai maksimum bila lapisan tipis di sebelah luar lapisan biomassa telah mencapai ketebalan maksimum untuk kondisi aerobik.

Mekanisme proses penguraian senyawa amoniak yang terjadi pada lapisan biofilm secara sederhana dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2. Lapisan terluar media penyangga adalah lapisan tipis zona aerobik, senyawa amoniak dioksidasi dan diubah ke dalam bentuk nitrit. Sebagian senyawa nitrit ada yang diubah menjadi gas dinitrogen oksida (N_2O) dan ada yang diubah menjadi nitrat. Proses yang terjadi tersebut dinamakan proses nitrifikasi.

Semakin lama, lapisan biofilm yang tumbuh pada media penyangga tersebut semakin tebal sehingga menyebabkan oksigen tidak dapat masuk ke dalam lapisan biofilm yang mengakibatkan terbentuknya zona anaerobik. Pada zona anaerobik ini, senyawa nitrat yang terbentuk diubah ke dalam bentuk nitrit yang kemudian dilepaskan menjadi gas nitrogen (N_2). Proses demikian tersebut dinamakan proses denitrifikasi.



Gambar 2 : Ilustrasi dari mekanisme proses penguraian amoniak di dalam biofilm

Menurut Harris dan Hansford (1976), ketebalan lapisan aerobik antara 0.05-0.1 mm dari ketebalan total lapisan biomassa yaitu 0.1-2 mm dan ketebalan lapisan biomassa yang terbentuk ini tergantung pada karakteristik dari air buangan yang akan diolah.

Tomlinson & Snaddon, (1996), Korgeney & Andrew, (1968), La Motta, (1976), menegaskan bahwa penghilangan substrat oleh lapisan mikroorganisme akan bertambah secara linier dengan bertambahnya ketebalan film sampai dengan ketebalan maksimum, sedangkan penghilangan akan tetap konstan dengan bertambahnya ketebalan biomassa lebih lanjut.

3. MATERIAL DAN METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Material

A. Air Baku

Air baku yang digunakan untuk penelitian ini diambil dari air Sungai Krukut yang merupakan air baku Perusahaan Daerah Air Mnum (PDAM) PALYJA, Instalasi Produksi III Cilandak, JL. Letjen. T.B. Simatupang, Cilandak Timur, Jakarta Selatan.

B. Pertumbuhan Mikroorganisme

Pertumbuhan mikroorganisme dilakukan secara alami dengan cara mengalirkan air baku sungai secara kontinyu ke dalam reaktor melalui media penyangga sampai terbentuknya lapisan biofilm yang melekat pada media. Pertumbuhan mikroorganisme ini juga didukung oleh suplai udara secara terus

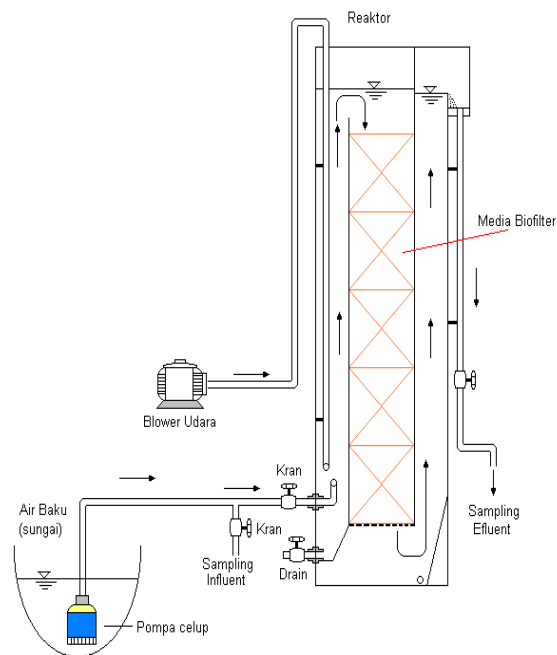
menerus dengan menginjeksikan udara ke dalam reaktor melalui alat pompa udara.

C. Model Reaktor Biologis

Model dari reaktor biologis yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis reaktor biologis dengan biakan melekat yang terbuat dari bahan fiberglas dengan ukuran (210 x 59 x 30)cm. Reaktor ini dilengkapi dengan lubang inlet dan lubang outlet yang terletak pada kedua sisi reaktor. Lumpur yang terendapkan dapat dikeluarkan melalui ruang lumpur pada bagian bawah reaktor. Diagram proses dan skema reaktor biologis yang digunakan untuk penelitian terlihat seperti pada Gambar 3, sedangkan spesifikasi reaktor dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 2 : Spesifikasi reaktor biologis biakan melekat dengan media plastik sarang tawon.

No	Uraian	Keterangan
1	Dimensi Reaktor	Panjang : 59 cm Lebar : 30 cm Tinggi : 210 cm
	Volume Efektif Bahan	372 liter Fiberglas
2	Media Penyangga :	PVC Sheet Sarang Tawon (Cross flow)
	Bahan	
	Tipe	
	Ukuran Lubang	
	Ketebalan Media	
	Ukuran Modul	
	Luas Permukaan Spesifik	
	Berat Spesifik Media	30 – 35 kg / m ³
	Porositas Media	
3	Peralatan pendukung	Kran sampling Pompa air baku Pompa sirkulasi Blower udara Pipa inlet PVC ½ “ Pipa outlet PVC ½ “



Gambar 3 : Diagram proses pengolahan yang digunakan untuk penelitian.

3.2. Metoda Penelitian

A. Pelaksanaan Penelitian

Air baku diambil dari Sungai Krukut yang dipompa untuk mengalirkan air tersebut ke dalam reaktor dari bawah ke atas. Air akan mengalir menuju ke bak pengendapan awal, bak biofilter yang telah berisi media dan bak pengendapan akhir. Penelitian dilakukan dengan menggunakan reaktor yang mempunyai volume tetap yaitu 372 liter dengan kondisi yang divariasikan adalah waktu tinggal hidrolis dan debit sirkulasi yang dioperasikan secara kontinyu. Media yang dipergunakan adalah sarang tawon (cross flow) dari bahan plastik PVC.

Tahapan pelaksanaan penelitian meliputi:

- Persiapan alat – alat dan media.
- Pemiakan mikroorganisme, dilakukan dengan cara alami yaitu dengan mengalirkan air baku yang akan diolah ke dalam bioreaktor secara terus – menerus sampai bakteri yang terdapat pada air baku tersebut menempel pada media dan membentuk lapisan biofilm. Pengamatan dilakukan dengan menganalisis zat organik (KMnO₄) sehingga diperoleh konsentrasi yang relatif stabil.

- Penelitian inti, dilakukan dengan melakukan variasi debit air baku untuk mendapatkan hubungan antara waktu tinggal hidrolis (WTH) terhadap penurunan konsentrasi zat organik. Waktu tinggal yang digunakan dalam penelitian ini adalah 4 jam, 3 jam, 2 jam dan 1 jam. Selama penelitian dilakukan pengambilan sampel konsentrasi amoniak, nitrit, nitrat, pH, dan temperatur.
- Penelitian lanjutan, yaitu dengan melakukan resirkulasi terhadap air hasil olahan setelah diperoleh waktu tinggal yang optimal. Perbandingan debit resirkulasi adalah 1Q;1,5Q; dan 2Q dari debit pada waktu tinggal yang optimal.
- Pengambilan sampel pada masing – masing titik influen dan efluen pada setiap penelitian.

B. Kondisi Operasional

Penelitian dilakukan pada suhu kamar dengan variasi waktu tinggal hidrolis (WTH) seperti pada Tabel 2. Perbandingan debit resirkulasi untuk media plastik diasumsikan sebesar 1Q; 1,5Q; dan 2 Q (Metcalf & Eddy,1991).

Tabel 2 : Debit air yang diolah sesuai dengan waktu tinggal hidrolis.

Waktu Tinggal Hidrolis (WTH) Jam	Debit (l/menit)
1	6,2
2	3,1
3	2,1
4	1,55

C. Pengambilan Sampel

Pengambilan sample dilakukan pada kondisi bioreaktor lekat telah mencapai kondisi tunak (stabil). Penentuan kondisi tunak dilakukan dengan mengukur kandungan organik (KMnO_4) terhadap waktu pada masing-masing titik sampling, yaitu titik influen dan efluen.

Parameter-parameter yang diukur pada penelitian ini adalah konsentrasi senyawa organik (Angka Permanganat, KMnO_4). Pengukuran parameter tersebut dilakukan di Laboratorium PDAM PALYJA, Instalasi Produksi III Cilandak, Jakarta Selatan.

D. Analisa Parameter

Parameter-parameter yang akan diperiksa pada penelitian ini adalah :

• Zat Organik (Angka Permanganat, KMnO_4)

Pengukuran kandungan zat organik dilakukan dengan metode titrasi. Kelebihan permanganat yang terpakai untuk oksidasi senyawa organik dalam sampel air yang diperiksa, direduksi oleh asam oksalat. Kelebihan asam oksalat dititrasi kembali dengan larutan KMnO_4 .

• Ammonium (NH_4^+)

Pemeriksaan ammonium dilakukan dengan metode kalorimetri, yaitu dengan menambahkan pereaksi nessler dan warna yang terbentuk dibandingkan dengan larutan standar dengan alat spektrofotometer dengan panjang gelombang (λ) 420 nm. Pemeriksaan dilakukan untuk mengetahui sejauh mana proses perubahan yang terjadi dalam reaktor.

• Nitrit (NO_2^-)

Kandungan nitrit dalam air sangat tidak stabil dikarenakan dengan adanya oksigen dengan cepat akan teroksidasi menjadi nitrat. Pemeriksaan nitrit dilakukan dengan metode kalorimetri dengan bantuan asam sulfanilat dan naphthylamin yang diukur dengan alat spektrofotometer dengan λ 537 nm.

• Nitrat (NO_3^-)

Adanya nitrat dalam air merupakan hal yang perlu diketahui yaitu untuk mengetahui sejauh mana hasil peruraian dari ammonium dan nitrit pada reaktor. Pemeriksaan nitrat dilakukan dengan menggunakan metode phenol-sulfat secara kalorimetri yang diukur dengan alat spektrofotometer dengan λ 410 nm.

E. Efisiensi Proses Nitrifikasi

Perhitungan penghilangan $\text{NH}_4\text{-N}$ ini didasarkan atas perbandingan pengurangan konsentrasi amoniak pada titik influen dan efluen terhadap konsentrasi amonia di influen. Tingkat efisiensi yang didapat merupakan

gabungan antara hasil asimilasi oleh mikroorganisme heterotrof dan proses nitrifikasi oleh mikroorganisme autotrof.

Perhitungan tingkat efisiensi proses nitrifikasi dapat dilakukan dengan menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut :

$$Ef - N = \frac{(NH_4-N)_{in} - (NH_4-N)_{ef}}{(NH_4-N)_{in}} \times 100\%$$

dimana :

Ef - N = Persentase penghilangan NH_4-N (%)

$(NH_4-N)_{in}$ = Konsentrasi NH_4-N di dalam influen (mg/l)

$(NH_4-N)_{ef}$ = Konsentrasi NH_4-N di dalam efluen (mg/l)

F. Beban Amoniak (NH_4-N)

Laju pembebanan amoniak (NH_4-N) didefinisikan sebagai jumlah senyawa amoniak yang terdapat dalam air buangan yang diuraikan oleh mikroorganisme di dalam bioreaktor per unit volume media biofilter per hari. Laju beban ini digunakan untuk mengetahui jumlah total beban amoniak di dalam air yang akan diolah dalam biofilter. Beban amonika dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$L - NH_4-N = \frac{Q \text{ m}^3/\text{hari} \times C - NH_4-N \text{ gr/m}^3}{\text{Volume Media (m}^3\text{)}}$$

dimana :

$L - NH_4-N$ = Beban Amoniak ($\text{gr/m}^3 \cdot \text{hari}$)
 Q = Debit air yang akan diolah (m^3/hari)

$C - NH_4-N$ = Konsentrasi Amoniak di dalam influen (gr/m^3)

4. HASIL PENELITIAN & PEMBAHASAN

4.1. Proses Pengolahan

Penelitian ini menggunakan suatu reaktor berskala pilot plant. Reaktor ini mempunyai ukuran tinggi 210 cm, panjang 59 cm dan lebar 30 cm dengan volume 372 liter dan dibuat dari bahan fiber glass. Reaktor biofilter terdiri dari bak pengendapan awal, bak biofilter yang terdiri dari media sarang tawon dan pengendapan akhir. Bioreaktor ini dilengkapi dengan pipa inlet dan pipa outlet yang terletak pada kedua sisi reaktor. Pada

bagian bawah reaktor terdapat ruang lumpur yang berfungsi sebagai tempat pengendapan yang dapat digunakan untuk mengeluarkan lumpur yang mengendap.

Pengaliran air yang akan diolah dilakukan dengan terus-menerus (*continues flow*) dan aliran di dalam media biofilter dilakukan adalah secara *down flow* (dari atas ke bawah). Proses yang terjadi pada bioreaktor adalah proses aerobik sehingga pemberian oksigen dilakukan dengan cara menggunakan pompa (blower) udara yang diinjeksikan ke dalam reaktor.

Media penyangga yang dipergunakan adalah sarang tawon (*cross flow*) yang terbuat dari plastik. Ukuran modul tiap media adalah 30x25x30cm. Penelitian ini menggunakan 5 media dengan keseluruhan tinggi 1,5 m.

Pada penelitian ini dilakukan variasi waktu tinggal hidrolis, yaitu 1 jam, 2 jam, 3 jam dan 4 jam untuk melihat kemampuan bioreaktor dalam menyisihkan zat organik. Pemilihan waktu tinggal hidrolis ini disesuaikan dengan kriteria pengolahan pendahuluan (*pretreatment*), yaitu 0,5 – 4 jam (CR. Schultz & DA Okun, 1984). Penelitian dilanjutkan dengan melakukan sirkulasi yaitu mengalirkan kembali air olahan yang ada pada bak pengendapan akhir menggunakan pompa sirkulasi ke bak biofilter. Perbandingan resirkulasi untuk media plastik adalah 1 – 2 Q. Penentuan resirkulasi dilakukan setelah diperoleh waktu tinggal hidrolis yang optimum.

4.2. Pemiakan Mikroorganisme (Seeding)

Pemiakan (seeding) mikroorganisme dilakukan secara alami yaitu dengan cara mengalirkan air baku Sungai Krukut yang akan diolah secara terus menerus ke dalam bioreaktor yang telah terisi media sarang tawon sampai terbentuknya lapisan biofilm yang melekat pada media dengan waktu tinggal hidrolis 6 (enam) jam. Pertumbuhan mikroorganisme ini juga didukung oleh pemberian oksigen secara terus menerus dengan menginjeksikan oksigen ke dalam reaktor melalui alat pompa udara.

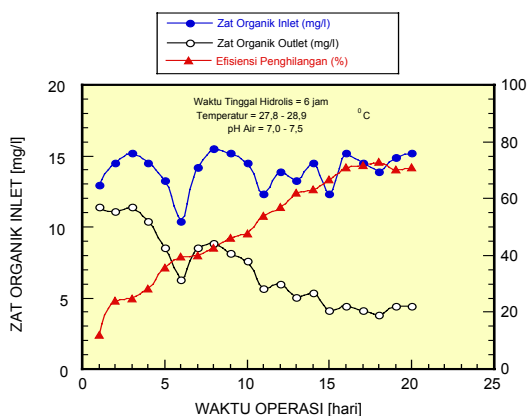
Pada awal penelitian selama 2 (dua) minggu pertama dilakukan pengamatan secara fisik. Pada tahap ini proses pengolahan belum berjalan dengan baik karena mikroorganisme yang ada pada bioreaktor belum tumbuh secara optimal. Setelah proses berjalan selama 2 (dua) minggu mikroorganisme sudah mulai tumbuh dan berkembang biak serta membentuk

lapisan lendir (*biofilm*) pada permukaan media. Lapisan *biofilm* ini mengandung mikroorganisme yang akan menguraikan zat pencemar organik yang terdapat pada air baku.

Pertumbuhan mikroorganisme diamati dengan mengukur penghilangan senyawa organik (angka Permanganat, KMnO_4) di dalam bioreaktor setelah dua minggu proses berjalan. Pengukuran dilakukan setiap hari sampai penghilangan zat organik menjadi relatif stabil.

Efisiensi penghilangan zat organik pada awal pengoperasian cenderung kecil, yaitu 12,20%. Hal ini dapat disebabkan pada awal operasi pertumbuhan mikroba optimal dan lapisan *biofilm* masih tipis. Pada hari ke-11 penghilangan zat organik telah mencapai 50%. Peningkatan efisiensi ini disebabkan mikroorganisme pada reaktor telah tumbuh dan berkembang biak dan membentuk lapisan *biofilm* yang lebih tebal dari sebelumnya sehingga zat organik yang ada dalam air baku diuraikan.

Penurunan konsentrasi senyawa organik di dalam influen dan effluen serta efisiensi penghilangan senyawa organik selama proses seeding ditunjukkan seperti pada Gambar 4. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada operasi hari ke-16 sampai dengan hari ke-20, penghilangan zat organik meningkat dari hari sebelumnya dan cenderung stabil, yaitu antara 70,21% - 72,73 %.



Keterangan :
 Temperatur Air : 27,8 – 28,9 °C ; pH air : 7,0 – 7,5
 Konsentrasi zat organik diukur dengan angka permanganat.

Gambar 4 : Penurunan konsentrasi senyawa organik di dalam influen dan effluen serta efisiensi penghilangan senyawa organik selama proses *seeding*.

Gambar 4 menunjukkan bahwa efisiensi penurunan konsentrasi zat organik (KMnO_4) dari ke-1 sampai ke-20 mengalami peningkatan dan menjadi stabil. Hal ini menunjukkan bahwa proses awal pertumbuhan mikroba dan pembentukan lapisan *biofilm* pada media membutuhkan waktu beberapa minggu, yang dikenal dengan proses pematangan (Rittman, et al, 1988). Adanya penghilangan zat organik yang cukup besar tersebut menunjukkan bahwa mikroorganisme telah tumbuh melekat pada media dan membentuk lapisan *biofilm*.

4.3. Penghilangan Amoniak

Setelah proses pembiakan mikroba dilakukan, selanjutnya waktu tinggal hidrolis (WTH) di dalam reaktor diubah menjadi 4 (empat) jam, 3 (tiga) jam, 2 (dua) jam dan satu jam. Perubahan konsentrasi amoniak sebelum dan sesudah pengolahan serta efisiensi penghilangan amoniak di dalam reaktor biofilter pada selang waktu tinggal hidrolis (WTH) empat jam sampai dengan satu jam secara lengkap ditunjukkan seperti pada Tabel 3 dan Gambar 5. Sedangkan perubahan konsentrasi nitrit dan nitrat selama proses pengolahan ditunjukkan seperti pada Tabel 4 dan Gambar 6.

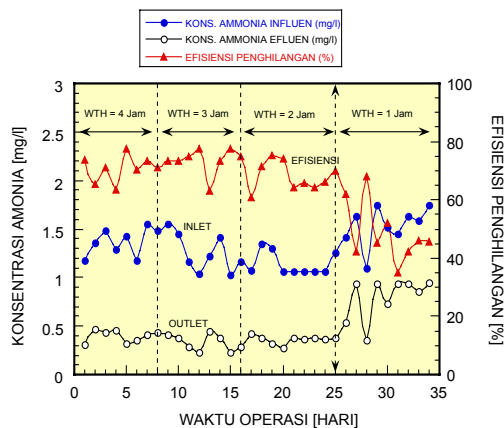
Tabel 3 : Kosentrasi Amoniak sebelum dan sesudah Pengolahan serta efisiensi penghilangan.

WTH (Jam)	OPERASII	KONSENTRASI AMONIAK ($\text{NH}_4\text{-N}$) (mg/l)		EFISIENS I PENGHIL ANGAN (%)
		INLET	OUTLET	
4 Jam	1	1.180	0.310	73.73
	2	1.360	0.470	65.44
	3	1.480	0.430	70.95
	4	1.290	0.460	63.34
	5	1.430	0.320	77.62
	6	1.180	0.350	70.34
	7	1.550	0.410	73.55
	8	1.480	0.430	70.95
Rata -		1.369	0.398	70.74
3 Jam	9	1.550	0.410	73.55
	10	1.450	0.375	73.50
	11	1.162	0.291	74.96
	12	1.034	0.232	77.56
	13	1.223	0.451	63.23
	14	1.420	0.380	73.24
	15	1.030	0.230	77.67
	16	1.160	0.290	75.00
Rata - Rata		1.254	0.332	73.59

2 Jam	17	1.073	0.421	60.76
	18	1.342	0.381	71.61
	19	1.302	0.321	75.35
	20	1.063	0.274	74.22
	21	1.060	0.380	64.15
	22	1.060	0.360	65.71
	23	1.060	0.380	64.16
	24	1.060	0.360	66.04
	25	1.260	0.380	69.84
Rata - Rata		1.142	0.362	67.98
1 Jam	26	1.420	0.540	61.97
	27	1.630	0.940	42.33
	28	1.100	0.350	68.18
	29	1.750	0.940	45.16
	30	1.520	0.730	51.97
	31	1.450	0.940	35.10
	32	1.630	0.940	42.33
	33	1.590	0.860	45.91
	34	1.750	0.950	45.71
Rata - Rata		1.538	0.799	48.74

Keterangan : Temperatur Air : 27,8 – 28,9 °C
pH air : 7,0 – 7,5 ; Tanpa Sirkulasi.

Dari hasil percobaan tersebut di atas, perhitungan tingkat efisiensi dengan ini didapat hasil efisiensi yang cukup tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa proses penguraian amoniak pada saat nitrifikasi selain dilakukan oleh mikroorganisme autotrof juga dilakukan oleh mikroorganisme heterotrof untuk mensintesa sel (Wisjnaprpto,1981).



Keterangan :
Temperatur Air : 27,8 – 28,9 °C ; pH air : 7,0 – 7,5 ;
Tanpa Sirkulasi.

Gambar 5 : Grafik konsentrasi amoniak sebelum dan sesudah pengolahan serta efisiensi penghilangan.

Dilihat dari Tabel 3 menunjukkan bahwa efisiensi penurunan amoniak berdasarkan variasi waktu tinggal hidrolis

berkisar antara 48,74 % - 73.59 %. Dengan adanya efisiensi penurunan tersebut menunjukkan bahwa di dalam bioreaktor lekat bermedia sarang tawon terjadi proses nitrifikasi.

Pada pengolahan dengan pengkondisian waktu tinggal hidrolis 1 jam efisiensi penurunan sebesar 45.11 %, untuk waktu tinggal 2 jam menunjukkan efisiensi sebesar 66.68 %, untuk waktu tinggal 3 jam efisiensi sebesar 75.30 %.

Dari grafik terlihat bahwa efisiensi penurunan amoniak ini semakin mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu tinggal di dalam reaktor, hal ini dikarenakan semakin lama waktu kontak antara air buangan dengan lapisan biomassa yang tumbuh di media akan semakin banyak amoniak yang terurai. Tetapi untuk waktu tinggal 4 jam, efisiensi mengalami penurunan sebesar 71.61 %.

Penurunan konsentrasi amoniak di dalam air menyebabkan konsentrasi nitrat di dalam air olahan menjadi lebih besar. Perubahan konsentrasi Nitrit dan Nitrat sebelum dan sesudah pengolahan ditunjukkan seperti pada Tabel 4 dan Gambar 6.

Tabel 4 : Konsentrasi Nitri dan Nitrat sebelum dan sesudah pengo-lahan.

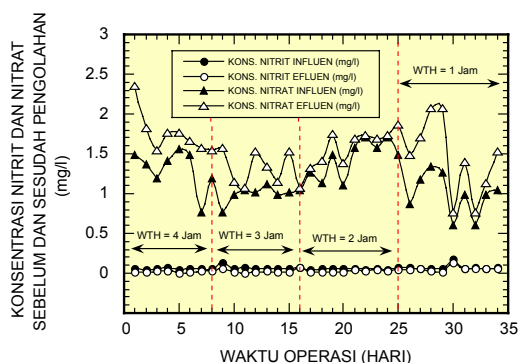
WTH (Jam)	WAKTU (HARI)	NITRIT (mg/l)		NITRAT (mg/l)	
		INLET	OUTLET	INLET	OUTLET
4 Jam	1	0.058	0.010	1.490	2.350
	2	0.048	0.012	1.370	1.820
	3	0.053	0.025	1.190	1.550
	4	0.074	0.035	1.420	1.760
	5	0.045	0.008	1.770	1.560
	6	0.058	0.010	1.490	1.660
	7	0.053	0.026	0.770	1.580
	8	0.053	0.025	1.190	1.550
Rata Rata		0.0553	0.019	1.336	1.728
3 Jam	9	0.135	0.067	0.770	1.580
	10	0.055	0.014	0.990	1.150
	11	0.076	0.007	1.040	1.170
	12	0.057	0.012	1.010	1.530
	13	0.063	0.025	1.120	1.340
	14	0.055	0.014	0.990	1.150
	15	0.057	0.012	1.010	1.530
	16	0.076	0.070	1.040	1.070
Rata Rata		0.072	0.028	0.996	1.315
2 Jam	17	0.043	0.012	1.270	1.320
	18	0.053	0.014	1.130	1.420
	19	0.058	0.017	1.490	1.750
	20	0.053	0.015	1.101	1.380
	21	0.056	0.045	1.580	1.690
	22	0.052	0.027	1.710	1.740
	23	0.055	0.045	1.580	1.690

	24	0.052	0.027	1.710	1.740
	25				
Rata	Rata	0.047	0.022	1.286	1.414
1 Jam	26	0.068	0.052	0.870	1.490
	27	0.065	0.061	1.180	1.710
	28	0.065	0.024	1.340	2.070
	29	0.054	0.020	1.260	2.070
	30	0.171	0.139	0.600	0.760
	31	0.057	0.053	0.990	1.400
	32	0.068	0.055	0.600	0.760
	33	0.057	0.053	0.990	1.140
	34	0.069	0.064	1.050	1.530
Rata	Rata	0.75	0.058	0.987	1.437

Keterangan : Temperatur Air : 27,8 – 28,9 °C ; pH air : 7,0 – 7,5 ; Tanpa Sirkulasi.

Dilihat dari penurunan konsentrasi amoniak dan peningkatan konsentrasi nitrat menunjukkan bahwa di dalam biofilter terjadi proses nitrifikasi. Bakteri yang terlibat dalam proses ini adalah bakteri autotrof yang berperan dalam proses nitrifikasi, sedangkan bakteri heterotrof berperan dalam penguraian beban organik. Walaupun bakteri autotrof berperan dalam proses nitrifikasi, proses ini dapat juga terjadi dengan adanya bakteri heterotrof (Verstraete & Alexander, 1972).

Menurut Metcalf & Eddy (1991), yang mengatakan bahwa bakteri heterotrof menggunakan substrat organik sebagai sumber energinya, sedangkan bakteri autotrof menggunakan senyawa CO₂ dan HCO₃⁻ sebagai sumber energi yang diperoleh dari hasil oksidasi bakteri heterotrof.



Gambar 6 : Grafik perubahan konsentrasi nitrit dan nitrat sebelum dan sesudah pengolahan.

Proses nitrifikasi yang terjadi ini menurut Gardy & Lim (1980), adalah suatu proses pengubahan dari NH₄-N menjadi NO₂-N yang kemudian menjadi NO₃-N yang dilakukan oleh bakteri autotropik dan heterotropik. Pengubahan NH₄-N menjadi

NO₂-N dilakukan oleh bakteri nitrosomonas dan selanjutnya NO₂-N yang terbentuk diubah menjadi NO₃-N oleh bakteri nitrobacter.

Kedua jenis bakteri diatas berlangsung dalam keadaan aerob sehingga memerlukan konsentrasi oksigen yang cukup untuk sumber energi dalam menunjang proses metabolisme, dan juga proses nitrifikasi merupakan suatu proses aerob sehingga keberadaan oksigen sangat penting dalam proses ini (Benefield & Randal, 1980).

Konsentrasi oksigen terlarut yang diperlukan agar proses nitrifikasi dapat berjalan dengan baik yaitu jika DO minimumnya > 1 mg/l (Benefield & Randall, 1980), tetapi bila konsentrasi oksigen terlarut dibawah 1 mg/l maka proses nitrifikasi menjadi lambat (Metcalf & Eddy, 1991).

Sedangkan konsentrasi nitrit (NO₂-N) dan nitrat (NO₃-N) mengalami perubahan. Senyawa nitrit merupakan senyawa peralihan yang terjadi dalam siklus biologis. Senyawa ini dihasilkan dari suatu proses oksidasi NH₄-N, tetapi sifatnya tidak stabil karena pada kondisi aerobik selama nitrit terbentuk dengan cepat nitrit dioksidasi menjadi nitrat oleh bakteri nitrobacter, oleh karena itu senyawa nitrit ditemukan dalam jumlah yang kecil.

Peningkatan konsentrasi nitrat (-N) dapat disebabkan adanya oksigen yang dialiri secara terus menerus ke dalam reaktor, sehingga dapat menyebabkan pembentukan nitrat, seperti reaksi dibawah ini :



Berdasarkan U.S. EPA (1975), pH optimum untuk aktivitas bakteri nitrosomonas dan nitrobacter agar dapat berjalan dengan optimal yaitu antara 7,5 – 8,5. Kondisi pH antara 7,0 – 7,5 menyebabkan peran bakteri nitrosomonas dalam proses nitrifikasi belum berjalan secara optimal, begitu pula dengan bakteri nitrobacter yang mengubah nitrit menjadi nitrat.

4.4. Pengaruh Sirkulasi Terhadap Proses Penghilangan Amoniak

Dengan waktu tinggal hidrolis yaitu 3 jam dan debit sebesar 2.9736 m³/hari, selanjutnya dilakukan percobaan dengan mensirkulasi air olahan ke dalam influen reaktor biofilter. Resirkulasi ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh resirkulasi

terhadap penghilangan amoniak di dalam bioreaktor.

Pengaruh besarnya ratio resirkulasi terhadap perubahan konsentrasi amoniak, nitrit dan nitrat sebelum dan sesudah pengolahan pada kondisi WTH 3 jam ditunjukkan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Dari Tabel 3 terlihat bahwa efisiensi penghilangan amoniak pada WTH 3 jam tanpa resirkulasi adalah sebesar 73.59 % sedangkan pada Tabel 6, efisiensi penghilangan amoniak setelah resirkulasi mengalami penurunan yaitu pada R = 1Q efisiensi penghilangan sebesar 67.27 %, R = 1.5Q efisiensi sebesar 64.06 %, dan R = 2Q efisiensi sebesar 60.63 %.

Penurunan efisiensi ini disebabkan karena air olahan dari bioreaktor ini di sirkulasi kembali sehingga beban pengolahan pada bioreaktor menjadi lebih besar. Dapat dikatakan bahwa semakin kecil waktu tinggal air dan debit yang diolah semakin besar menyebabkan beban pengolahan menjadi lebih besar sehingga efisiensi pengolahan mengalami penurunan.

Tabel 5 : Pengaruh Proses Nitrifikasi Terhadap Sirkulasi

WTH 3 jam	NH ₄ -N Influen	NH ₄ -N Efluen	NO ₂ -N influen	NO ₂ -N Efluen	NO ₃ -N influen	NO ₃ -N Efluen
R = 1Q	1.12	0.35	0.110	0.098	1.01	1.57
	1.22	0.41	0.069	0.066	1.26	1.75
	1.14	0.38	0.059	0.033	0.45	1.09
R = 1.5Q	1.28	0.44	0.108	0.057	1.05	1.27
	1.39	0.52	0.085	0.074	0.95	1.32
	1.47	0.53	0.089	0.076	0.63	1.12
R = 2Q	1.43	0.57	0.089	0.073	1.13	1.87
	1.46	0.56	0.086	0.057	1.21	1.63
	1.73	0.69	0.117	0.083	1.26	1.53

Ket : R = Resirkulasi, Konsentrasi (mg/l) Q = debit air

Hasil efisiensi proses nitrifikasi dengan variasi rasio sirkulasi dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 6: Efisiensi Proses Nitrifikasi Terhadap Variasi Sirkulasi

WTH 3 jam	NH ₄ -N Influen	NH ₄ -N Efluen	% Efisiensi
R = 1Q	1.12	0.35	68.75
	1.22	0.41	66.39
	1.14	0.38	66.67

Rata-rata			67.27
R = 1.5 Q	1.28	0.44	65.63
	1.39	0.52	62.59
	1.47	0.53	63.95
Rata-rata			64.06
R = 2Q	1.43	0.57	60.14
	1.46	0.56	61.64
	1.73	0.69	60.12
Rata-rata			60.63

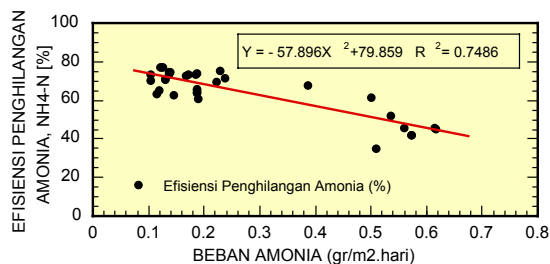
Ket : R = Resirkulasi, Konsentrasi (mg/l) Q = debit air

4.5. Laju Pembebanan Amoniak (NH₄-N)

Laju pembebanan digunakan untuk mengetahui jumlah beban air buangan yang diolah pada reaktor. Dalam percobaan ini, perhitungan laju beban senyawa amoniak dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan seperti yang ditunjukkan pada sub bab III.2.F.

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan di atas, dapat dihitung besarnya beban amoniak (ammonia loading) dihubungkan dengan besarnya efisiensi penghilangan amoniak. Hasil perhitungan laju beban senyawa amoniak dan besarnya efisiensi penghilangan amoniak secara lengkap ditunjukkan seperti pada Tabel 7 (Lihat Lampiran).

Dari hasil perhitungan pada Tabel 7 tersebut maka dapat dibuat grafik hubungan antara efisiensi penghilangan NH₄-N (%) dengan laju beban NH₄-N (gr/m³ . Hari) seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 : Grafik hubungan antara Laju Pembebanan amoniak dengan efisiensi penghilangan amoniak di dalam reaktor biofilter tercelup

Dari Gambar 7 tersebut di dapatkan persamaan hubungan antara beban amoniak

dengan efisiensi penghilangan amoniak yang ditunjukkan dengan persamaan :

$$Y = - 57,896 X + 79,859$$

di mana Y adalah efisiensi penghilangan amoniak (%), dan X adalah beban amoniak yang dinyatakan dalam gr amoniak/m² media per hari, dengan nilai R (regresi) dengan harga R² = 0,7486. dari hasil tersebut terlihat bahwa dengan beban amoniak sebesar 0,1–0,7 gr/m².hari di dapatkan efisiensi penghilangan amoniak antara 40 – 75 %.

4.6. Identifikasi Mikroorganisme

Di dalam proses pengolahan secara biologis, mikroorganisme merupakan faktor yang penting terhadap berlangsungnya proses biologis baik dalam penurunan kandungan bahan organik maupun dalam proses nitrifikasi. Identifikasi mikroorganisme pada bioreaktor lekat bermedia sarang tawon ini dimaksudkan untuk mengetahui jenis mikroorganisme yang berperan dalam penurunan bahan organik dan proses nitrifikasi. Hasil identifikasi mikroorganisme yang terdapat di dalam reaktor biofilter tercelup ditunjukkan seperti pada Tabel 8.

Tabel 8: Mikroorganisme yang terdapat di dalam Reaktor Biofilter tercelup

No	Jenis Mikroorganisme
1	<i>Bacillus Subtilis</i>
2	<i>Proteus Vulgaris</i>
3	<i>Clostridium Tetani</i>
4	<i>Escherichia Coli</i>
5	<i>Nitrosomonas</i>
6	<i>Nitrobacter</i>

Sumber : Lab. Mikrobiologi FK Univrsitas Trisakti

Dari tabel tersebut dapat terlihat bahwa, jenis mikroorganisme yang ditemukan pada pengolahan biologis dengan menggunakan reaktor biofilter tercelup menggunakan media sarang tawon diantaranya adalah *nitrosomonas* dan *nitrobacter*. Dengan adanya kedua jenis mikroorganisme tersebut menunjukkan bahwa proses nitrifikasi dapat terjadi pada pengolahan biologis ini.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian penghilangan amoniak di dalam air baku air minum dengan

menggunakan biofilter tercelup dengan media plastik sarang tawon dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

- Pertumbuhan mikroorganisme dilakukan secara alami yaitu dengan cara mengalirkan air baku Sungai Krukut yang akan diolah kedalam reaktor secara terus-menerus melalui media PVC sarang tawon hingga terbentuk lapisan biomassa (biofilm) yang melakat pada permukaan media, dan proses berjalan stabil setelah operasi berjalan sekitar 3 minggu.
- Efisiensi penurunan amoniak berdasarkan variasi waktu tinggal hidrolis 1-3 jam berkisar antara 48,74 % - 73.59 %. Pada pengolahan dengan pengkondisian waktu tinggal hidrolis 1 jam efisiensi penurunan sebesar 48.74%, untuk waktu tinggal 2 jam menunjukkan efisiensi sebesar 67.98 %, untuk waktu tinggal 3 jam efisiensi sebesar 73,59 %.
- Dari hasil percobaan di dapatkan persamaan hubungan antara beban amoniak dengan efisiensi penghilangan amoniak yang ditunjukkan dengan persamaan :

$$Y = - 57,896 X + 79,859$$

di mana Y adalah efisiensi penghilangan amoniak (%), dan X adalah beban amoniak yang dinyatakan dalam gram amoniak/m² media per hari, dengan nilai R (regresi) dengan harga R² = 0,7486. Dengan beban amoniak sebesar 0,1–0,7 gr/m².hari di dapatkan efisiensi penghilangan amoniak antara 40 – 75 %.

- Hasil identifikasi mikroorganisme yang terdapat pada bioreaktor lekat diantaranya adalah *nitrosomonas* dan *nitrobacter*. Dengan adanya kedua bakteri tersebut maka dapat dikatakan bahwa proses nitrifikasi terjadi dalam pengolahan biologis ini.
- Dengan pengolahan pendahuluan secara biologis ini, senyawa amoniak dapat diturunkan hingga ± 70 % sehingga kebutuhan khlor untuk desinfeksi pada pengolahan air minum dapat ditekan seminimal mungkin.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G dan S.S Santika. (1984). "Metoda Penelitian Air". Surabaya. Penerbit Usaha Nasional.

- Barnes, D., Blisse P.J. (1980). "*Biological Process Design For Wastewater Treatment*". United States Of America : Prentice-Hall, Inc.
- Bitton G. (1994), "*Wastewater Microbiology*". Wiley-Liss, New York.
- Casey, T.J.(1997). "*Unit Treatment Process In Water and Wastewater Engineering*". University College Dublin, Ireland : John Wiley and Sons Ltd.
- Dojlido, Jan R, and Best, Gerald A. (1993). "*Chemistry of Water and Wastewater Pollution*". England. Ellis Horwood Limited.
- Fair, Gordon Maskew et.al., "*Elements Of Water Supply And Waste Water Disposal*", John Wiley And Sons Inc., 1971.
- Grady, C.P.L and Lim, H.C.(1980). "*Biological Wastewater Treatment*", Marcel Dekker Inc. New York.
- Henry, J. Glynn and Heinke, Gary W. (1996). "*Environmental Science & Engineering*". Second Edition. New Jersey, USA. Prentice-Hall, Inc.
- Horan, N.J.(1990). "*Biological Wastewater Treatment systems : Theory and Operation*". University of Leeds, England. John Wiley & Sons Ltd.
- Metclaf And Eddy (1978). "*Waste Water Engineering*", Mc Graw Hill.
- Unesco.(1978). "*Water Quality Surveys: A Guide for The Collection & Interpretation of water Quality Data*". United Kingdom : IHD-WHO Working Group on Quality of Water.

bidang Environmental and Sanitary Engineering, di Kyoto University, Jepang pada tahun 1995. Sejak tahun 1985 sampai sekarang bekerja staf peneliti di Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT.

Rina Tresnawaty, Mahasiswi jurusan Teknologi Lingkungan Universitas Trisakti.

RIWAYAT PENULIS

Nusa Idaman Said, Lahir di Jombang, 5 Mei 1959. Menyelesaikan pendidikan sarjana Teknik Kimia ITS, Surabaya tahun 1984. Pernah Mengikuti program Industrial Training untuk bidang Perencanaan Fasilitas Pengolahan Air Minum dan Air Limbah di Kyoto University, Jepang (Juli 1987 - Juli 1988). Menyelesaikan Program Master di

LAMPIRAN :

Tabel 7 : Pengaruh waktu tinggal hidrolis (WTH) terhadap penurunan konsentrasi, loading serta efisiensi penghilangan amonia pada proses biofilter tercelup.

WAKTU TINGGAL (Jam)	WAKTU OPERASII (HARI)	KONSENTRASI AMMONIA (NH ₄ -N) (mg/l)		EFISIENSI PENGHILANGAN (%)	BEBAN AMONIA (gr/m ² media.hari)
		INLET	OUTLET		
4 Jam	1	1.180	0.310	73.73	0.104
	2	1.360	0.470	65.44	0.119
	3	1.480	0.430	70.95	0.130
	4	1.290	0.460	63.34	0.113
	5	1.430	0.320	77.62	0.126
	6	1.180	0.350	70.34	0.104
	7	1.550	0.410	73.55	0.136
	8	1.480	0.430	70.95	0.130
Rata - Rata		1.369	0.398	70.74	0.120
3 Jam	9	1.550	0.410	73.55	0.184
	10	1.450	0.375	73.50	0.172
	11	1.162	0.291	74.96	0.138
	12	1.034	0.232	77.56	0.123
	13	1.223	0.451	63.23	0.145
	14	1.420	0.380	73.24	0.166
	15	1.030	0.230	77.67	0.120
	16	1.160	0.290	75.00	0.136
Rata - Rata		1.254	0.332	73.59	0.148
2 Jam	17	1.073	0.421	60.76	0.188
	18	1.342	0.381	71.61	0.236
	19	1.302	0.321	75.35	0.229
	20	1.063	0.274	74.22	0.187
	21	1.060	0.380	64.15	0.186
	22	1.060	0.360	65.71	0.186
	23	1.060	0.380	64.16	0.186
	24	1.060	0.360	66.04	0.186
	25	1.260	0.380	69.84	0.221
Rata - Rata		1.142	0.362	67.98	0.201
1 Jam	26	1.420	0.540	61.97	0.499
	27	1.630	0.940	42.33	0.572
	28	1.100	0.350	68.18	0.386
	29	1.750	0.940	45.16	0.615
	30	1.520	0.730	51.97	0.534
	31	1.450	0.940	35.10	0.509
	32	1.630	0.940	42.33	0.572
	33	1.590	0.860	45.91	0.558
	34	1.750	0.950	45.71	0.614
Rata - Rata		1.538	0.799	48.74	0.540

Keterangan : Temperatur Air : 27,8 – 28,9 °C ; pH air : 7,0 – 7,5 ; Tanpa Sirkulasi.
Data yang di arsir adalah data setelah keadaan biofilter dianggap stabil.